



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109805882 A

(43)申请公布日 2019. 05. 28

(21)申请号 201910106519.0

(22)申请日 2019.02.02

(71)申请人 佛山职业技术学院

地址 528000 广东省佛山市三水区乐平镇
职教路3号佛山职业技术学院

(72)发明人 刘修泉 李艳红 杨伟 张涛川
刘智 黄平 刘畅

(74)专利代理机构 广州嘉权专利商标事务所有
限公司 44205

代理人 王国标

(51)Int.Cl.

A61B 1/04(2006.01)

A61B 1/045(2006.01)

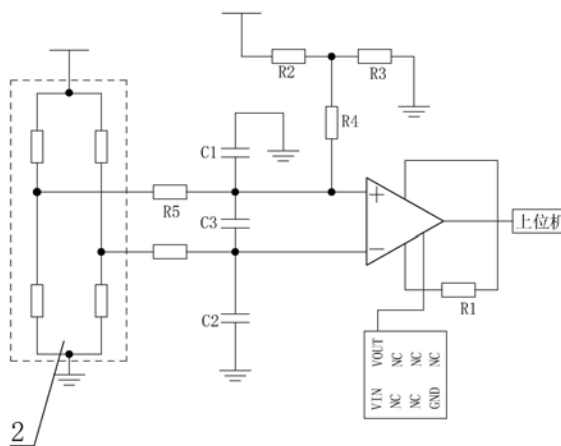
权利要求书5页 说明书12页 附图4页

(54)发明名称

一种胶囊内窥镜定位系统及其定位方法

(57)摘要

本发明公开了一种胶囊内窥镜定位系统以及定位方法,系统包括永磁体、检测模块、上位机以及电源,所永磁体安装在胶囊内窥镜中,所述检测模块配置有两个或两个以上,每个所述检测模块包括磁阻传感器以及放大电路,所述磁阻传感器与放大电路的输入端相连接,各个检测模块的放大电路的输出端分别与上位机相连接,各个检测模块的磁阻传感器均设置在同一平面上且呈环形阵列分布在永磁体的外部。本发明创造在胶囊内窥镜中安装永磁体,通过设置在永磁体外部的两个或以上磁阻传感器对永磁体由于位置姿态的改变而引起的磁场变化进行检测,利用放大电路对磁阻传感器输出的电压信号进行检测,提高对胶囊内窥镜的位置姿态参数检测的准确度。



1. 一种胶囊内窥镜定位系统,其特征在于:包括永磁体(1)、检测模块、上位机以及电源,所述永磁体(1)安装在胶囊内窥镜中,所述检测模块配置有两个或两个以上,所述电源分别与各个检测模块相连接,每个所述检测模块包括磁阻传感器(2)以及放大电路,所述磁阻传感器(2)与放大电路的输入端相连接,各个检测模块的放大电路的输出端分别与上位机相连接,各个检测模块的磁阻传感器(2)均设置在同一平面上且呈环形阵列分布在永磁体(1)的外部。

2. 根据权利要求1所述的一种胶囊内窥镜定位系统,其特征在于:所述放大电路包括放大单元、调零单元以及基准电压单元,所述磁阻传感器(2)与放大单元的输入端相连接,所述放大单元的输出端与上位机相连接,所述调零单元以及基准电压单元分别与放大单元相连接。

3. 根据权利要求2所述的一种胶囊内窥镜定位系统,其特征在于:所述放大单元包括仪表放大器芯片、电阻R1、电容C1、电容C2以及电容C3,所述仪表放大器芯片设有两个增益控制端、两个电压输入端、一个电压输出端以及一个基准电压端,所述电阻R1的两端分别与仪表放大器芯片的两个增益控制端相连接,所述仪表放大器芯片的两个电压输入端分别与磁阻传感器(2)相连接,所述仪表放大器芯片的两个电压输入端分别通过电容C1以及电容C2接地,所述电容C3的两端分别与所述仪表放大器芯片的两个电压输入端相连接,所述仪表放大器芯片的基准电压端与基准电压单元相连接,所述仪表放大器芯片的电压输出端与上位机相连接。

4. 根据权利要求3所述的一种胶囊内窥镜定位系统,其特征在于:所述调零单元包括电阻R2、电阻R3、电阻R4以及电阻R5,所述电阻R2是电位器,所述电阻R2与电阻R3串联在电源与地之间,所述电阻R4一端接在电阻R2与电阻R3之间,另一端通过电阻R5与磁阻传感器(2)相连接,所述仪表放大器芯片的其中一个电压输入端接在电阻R4与电阻R5之间。

5. 根据权利要求4所述的一种胶囊内窥镜定位系统,其特征在于:所述基准电压单元包括基准电压芯片,所述基准电压芯片的输入端与电源相连,所述基准电压芯片的输出端与仪表放大器芯片的基准电压端相连接。

6. 根据权利要求5所述的一种胶囊内窥镜定位系统,其特征在于:所述仪表放大器芯片的型号为AD623,所述基准电压芯片的型号为MC1403,所述磁阻传感器(2)的型号为HMC1043。

7. 一种胶囊内窥镜定位方法,其特征在于,包括:

步骤100,将永磁体安装在胶囊内窥镜中,将永磁体简化为磁偶极子模型,将胶囊内窥镜简化为刚体模型;

步骤200,将两个或两个以上的磁阻传感器设置在胶囊内窥镜外部,所述磁阻传感器呈环形阵列分布,所述磁阻传感器是三轴磁阻传感器;

步骤300,建立空间直角坐标系 $oxyz$,胶囊内窥镜的位置姿态参数定义为 (x, y, z, α, β) ,其中 (x, y, z) 为胶囊内窥镜的中心坐标, α 为胶囊内窥镜中轴线与 z 轴的夹角, β 为胶囊内窥镜中轴线在 xoy 平面的投影与 x 轴的夹角;

步骤400,获取每个磁阻传感器的输出电压值;

步骤500,根据每个磁阻传感器的输出电压值,计算磁阻传感器所处位置的磁感应强度;

步骤600,根据每个磁阻传感器所处位置的磁感应强度,计算出胶囊内窥镜的位置姿态参数。

8.根据权利要求7所述的一种胶囊内窥镜定位方法,其特征在于,步骤100中,所述永磁体的磁矩与胶囊内窥镜的中轴线重合或者平行。

9.根据权利要求8所述的一种胶囊内窥镜定位方法,其特征在于,步骤500中,胶囊内窥镜的输出电压值与磁感应强度的关系如式1所示:

$$\begin{pmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{K_1} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{K_2} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{K_3} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{pmatrix} \quad \text{式 1}$$

其中 (V_1, V_2, V_3) 为磁阻传感器的输出电压值, (B_1, B_2, B_3) 为全局坐标系下磁阻传感器所处位置的磁感应强度, (K_1, K_2, K_3) 是转换系数,如式2所示将全局坐标系下的磁感应强度 (B_1, B_2, B_3) 转换成直角坐标系下的磁感应强度 (B_x, B_y, B_z) :

$$\begin{pmatrix} B_x \\ B_y \\ B_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} K_{11} & K_{12} & K_{13} \\ K_{21} & K_{22} & K_{23} \\ K_{31} & K_{32} & K_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} K_{11} & K_{12} & K_{13} \\ K_{21} & K_{22} & K_{23} \\ K_{31} & K_{32} & K_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{1}{K_1} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{K_2} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{K_3} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{pmatrix} \quad \text{式 2}$$

根据公式 $B = B_T \left(\frac{3(H_0 \cdot r)r}{r^5} - \frac{H_0}{r^3} \right)$, r 表示永磁体到空间点的位移矢量, $B_T = \frac{\mu_0 m'}{4\pi}$, m' 表示永磁体的磁矩, $H_0 = (m, n, p)$, H_0 是与磁矩矢量同向的单位向量,对式2进行运算得到式3:

$$\begin{pmatrix} B_x \\ B_y \\ B_z \end{pmatrix} = B_T \left[\frac{3(H \cdot R)R}{R^5} - \frac{H}{R^3} \right] = B_T \begin{pmatrix} \frac{3[m(x_l - a) + n(y_l - b) + p(z_l - c)](x_l - a)}{R_l^5} - \frac{m}{R_l^3} \\ \frac{3[m(x_l - a) + n(y_l - b) + p(z_l - c)](y_l - b)}{R_l^5} - \frac{n}{R_l^3} \\ \frac{3[m(x_l - a) + n(y_l - b) + p(z_l - c)](z_l - c)}{R_l^5} - \frac{p}{R_l^3} \end{pmatrix} \quad \text{式 3}$$

设 $\begin{pmatrix} B_x \\ B_y \\ B_z \end{pmatrix} = B_T \begin{pmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \end{pmatrix}$, 则式3转换成式4:

$$\begin{pmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \end{pmatrix} = \frac{1}{B_T} \begin{pmatrix} B_x \\ B_y \\ B_z \end{pmatrix} = \frac{1}{B_T} \begin{pmatrix} K_{11} & K_{12} & K_{13} \\ K_{21} & K_{22} & K_{23} \\ K_{31} & K_{32} & K_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{1}{K_1} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{K_2} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{K_3} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{pmatrix} \quad \text{式 4}$$

设 $K = \begin{pmatrix} K_{11} & K_{12} & K_{13} \\ K_{21} & K_{22} & K_{23} \\ K_{31} & K_{32} & K_{33} \end{pmatrix}$, 计算K值的过程包括以下步骤:

步骤510, 获取一组已知的位置姿态参数, 记为 $(a_i, b_i, c_i, m_i, n_i, p_i)$ ($i=1, 2, 3 \cdots N$);

步骤520, 令式4在x方向进行简化, 得到式5:

$$B_T F_{xi} = \frac{K_{11}}{K_1} V_{1i} + \frac{K_{12}}{K_2} V_{2i} + \frac{K_{13}}{K_3} V_{3i} \quad \text{式 5}$$

令 $K'_{11} = \frac{K_{11}}{K_1}, K'_{12} = \frac{K_{12}}{K_2}, K'_{13} = \frac{K_{13}}{K_3}$, 通过最小二乘法构建误差函数如式6所示:

$$Q_{xi} = \sum_{i=1}^N \left[B_T F_{xi} - (K'_{11} V_{1i} + K'_{12} V_{2i} + K'_{13} V_{3i}) \right]^2 \quad \text{式 6}$$

步骤530, 分别令 $\frac{\partial Q_{xi}}{\partial B_T} = 0, \frac{\partial Q_{xi}}{\partial K'_{11}} = 0, \frac{\partial Q_{xi}}{\partial K'_{12}} = 0, \frac{\partial Q_{xi}}{\partial K'_{13}} = 0$, 将式6写成矩阵的形式, 得到式7:

$$\sum_{i=1}^N \begin{bmatrix} F_{xi}^2 & -V_{1i} F_{xi} & -V_{2i} F_{xi} & -V_{3i} F_{xi} \\ V_{1i} F_{xi} & -V_{1i}^2 & -V_{2i} V_{1i} & -V_{3i} V_{1i} \\ V_{2i} F_{xi} & -V_{1i} V_{2i} & -V_{2i}^2 & -V_{3i} V_{2i} \\ V_{3i} F_{xi} & -V_{1i} V_{3i} & -V_{2i} V_{3i} & -V_{3i}^2 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} B_T \\ K'_{11} \\ K'_{12} \\ K'_{13} \end{pmatrix} = 0 \quad \text{式 7}$$

步骤540, 由式7得到 $(K'_{11}, K'_{12}, K'_{13})$;

步骤550, 重复步骤520至步骤540两次, 分别在步骤520中令式4在y轴以及z轴方向进行简化, 得到 $(K'_{21}, K'_{22}, K'_{23})$ 和 $(K'_{31}, K'_{32}, K'_{33})$, 得到K值。

10. 根据权利要求9所述的一种胶囊内窥镜定位方法, 其特征在于, 步骤600中胶囊内窥镜的位置姿态参数是根据每个磁阻传感器所处位置的磁感应强度, 利用线性算法或者非线性算法计算得到的;

设胶囊内窥镜的磁矩为 m' , 根据磁偶极子模型, 得到胶囊内窥镜在空间的三维磁场强度矢量如式8所示:

$$B_0(B_x, B_y, B_z) = \frac{\mu_0}{4\pi} \nabla \left(m' \cdot \nabla \left(\frac{1}{r} \right) \right) = \frac{\mu_0}{4\pi} \left(\frac{3(m'r)}{r^5} r - \frac{m'}{r^3} \right) \quad \text{式 8}$$

其中 r 为永磁体到空间点的位移矢量, ∇ 为哈密顿算子, $\nabla = \frac{\partial}{\partial x} i + \frac{\partial}{\partial y} j + \frac{\partial}{\partial z} k$,

当磁偶极子不处于坐标原点时, 设其位置为 $r_m(x_m, y_m, z_m)$, 空间某点的坐标为 $r_s(x_s, y_s, z_s)$,

则该点与磁偶极子的相对坐标为 $r = r_s - r_m = (x_s - x_m, y_s - y_m, z_s - z_m)$;

在直角坐标系下,磁偶极子在空间任一点的磁感应强度如式9所示:

$$\begin{aligned} B &= B_x i + B_y j + B_z k \\ &= \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{m'}{r^5} \left\{ \left[(2X^2 - Y^2 - Z^2) \sin \alpha \cos \beta + 3XY \sin \alpha \sin \beta + 3XZ \cos \alpha \right] i \right. \\ &\quad + \left[(2Y^2 - X^2 - Z^2) \sin \alpha \sin \beta + 3XY \sin \alpha \cos \beta + 3YZ \cos \alpha \right] j \\ &\quad \left. + \left[(2Z^2 - X^2 - Y^2) \cos \alpha + 3XZ \sin \alpha \cos \beta + 3YZ \sin \alpha \sin \beta \right] k \right\} \end{aligned} \quad \text{式 9}$$

式中 $X = x_s - x_m, Y = y_s - y_m, Z = z_s - z_m, r^2 = (x_s - x_m)^2 + (y_s - y_m)^2 + (z_s - z_m)^2$, 在 (x_s, y_s, z_s) 处的磁感应强度通过步骤500计算得到;

利用非线性算法计算胶囊内窥镜的位置姿态参数,根据磁阻传感器输出建立数学方程是超定方程组,方程个数大于位置姿态参数的未知量,采用测量点残差的加权平方和作为目标函数,使用最小二乘法求解,目标函数如式10所示:

$$Q = \sum_{i=1}^m w_i r_i^2 = \sum_{i=1}^m w_i [y_i - f(x_i, b)]^2 \rightarrow \min \quad \text{式 10}$$

设磁阻传感器配置有N个, $B_m^j (B_{mx}, B_{my}, B_{mz})$, $j = 1, 2, 3, \dots, N$ 是任意一个磁阻传感器的磁感应强度分量测量值,记作 B_k , $k = 1, 2, 3, \dots, 3N$, 分别等于

$$B_{k=3(i-1)+1} = B_{mx}^i, \quad B_{k=3(i-1)+2} = B_{my}^i, \quad B_{k=3(i-1)+3} = B_{mz}^i, \quad i = 1, 2, 3, \dots, N, \text{ 将}$$

$B_{k=3(i-1)+1} = B_{mx}^i, \quad B_{k=3(i-1)+2} = B_{my}^i, \quad B_{k=3(i-1)+3} = B_{mz}^i$ 分别转换成残差形式,如式11所示:

$$\begin{cases} \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{m'}{r_i^5} \left[(2X^2 - Y^2 - Z^2) \sin \alpha \cos \beta + 3XY \sin \alpha \sin \beta + 3XZ \cos \alpha \right] - B_{3(i-1)+1} = e_{3(i-1)+1} \\ \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{m'}{r_i^5} \left[(2Y^2 - X^2 - Z^2) \sin \alpha \sin \beta + 3XY \sin \alpha \cos \beta + 3YZ \cos \alpha \right] - B_{3(i-1)+2} = e_{3(i-1)+2} \\ \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{m'}{r_i^5} \left[(2Z^2 - X^2 - Y^2) \cos \alpha + 3XZ \sin \alpha \cos \beta + 3YZ \sin \alpha \sin \beta \right] - B_{3(i-1)+3} = e_{3(i-1)+3} \\ i = 1, 2, \dots, N \end{cases} \quad \text{式 11}$$

$$\text{其中} \begin{cases} X_i = x_s - x_{mi} \\ Y_i = y_s - y_{mi} \\ Z_i = z_s - z_{mi} \end{cases}, \quad r_i^2 = X_i^2 + Y_i^2 + Z_i^2, i = 1, 2, 3, \dots, N, \quad (x_{mi}, y_{mi}, z_{mi}) \text{ 是}$$

第i个磁阻传感器的坐标,通过磁阻传感器所检测的空间点的磁感应强度,具有三个方向向

量,取其残差平方和的开方,作为位姿姿态求解准则, $f(x) = \sqrt{\sum_{i=1}^{3N} e_i^2}$, 通过以上3N个式11

方程的求解,确定永磁体的位置姿态参数;

利用线性算法计算胶囊内窥镜的位置姿态参数,对式8进行简化,设 $B_T = \frac{\mu_0 m'}{4\pi}$, 将式8

简化为式12:

$$B_l = B_T \left(\frac{3(H_0 \cdot r)r}{r^5} - \frac{H_0}{r^3} \right) \quad \text{式 12}$$

式中 H_0 是与磁矩矢量同向的单位向量,令 $H_0 = (m, n, p)$,式12中等式两边先与 r 进行向量积得到:

$$(B_l \times r) \cdot H_0 = 0 \quad \text{式13}$$

将式13改写成分量的形式得:

$$\begin{pmatrix} B_{lx} \\ B_{ly} \\ B_{lz} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} x_l - x_m \\ y_l - y_m \\ z_l - z_m \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} m \\ n \\ p \end{pmatrix} = 0 \quad \text{式 14}$$

对式14进行化简得:

$$\left(B_{lx}, B_{ly}, B_{lz}, B_{lz}y_l - B_{ly}z_l, B_{lx}z_l - B_{lz}x_l, B_{ly}x_l - B_{lx}y_l \right) \begin{pmatrix} y_m p - z_m n \\ z_m m - x_m p \\ x_m n - y_m m \\ m \\ n \\ p \end{pmatrix} = 0 \quad \text{式 15}$$

由式15得到胶囊内窥镜的位置姿态参数。

一种胶囊内窥镜定位系统及其定位方法

技术领域

[0001] 本发明涉及胶囊内窥镜技术领域,更具体地说涉及胶囊内窥镜定位系统及其定位方法。

背景技术

[0002] 胶囊内窥镜技术自上世纪末出现,患者吞服之后,它能拍摄消化道图像,通过胃肠道的蠕动完成整个消化道系统的观测,避免了给患者带来较大的痛苦。经过十几年的发展,胶囊内窥镜技术已经日臻成熟,但是,从临床反馈来看,胶囊内窥镜还有很多问题需要解决。第一个是定位问题,胶囊内窥镜虽然可以对整个消化道系统进行检查,但是却无法给沿途拍摄的图像和视频进行精确的定位,而在使用胶囊内窥镜检查出病灶部位之后,要对病灶部位进行定点施药或者其他治疗措施,因此精确的定位是必须的;第二是驱动问题,现有技术中胶囊内窥镜是采用胃肠道蠕动而运动的这样一种被动式的运动方式,无法控制其行进、后退和逗留,可能会导致重要区域无法获得详细的检测。

[0003] 精确的定位能够让医生获得更全面的病灶部位的信息,并作出更可靠的诊断,胶囊内窥镜的主动驱动、图像和视频的升级以及后续地定点施药等技术都是以定位为基础的,解决了定位和驱动的问题,胶囊内窥镜系统会更加完善,更多的人会接受这项技术所带来的福利。

[0004] 现有技术中常规的胶囊内窥镜定位方法包括超声波定位,RF信号强度定位法,X射线和核医学显像法以及磁定位法等。超声波受到体内肠内物质的影响很大,导致定位精度较低,不能获得准确的空间位置。RF信号在不同人的不同组织之间的能量衰减不一样,导致定位算法复杂并且定位精度不高。X射线和核医学显像法对人体有伤害,无法长时间对胶囊位置进行追踪,很难广泛使用。

发明内容

[0005] 本发明要解决的技术问题是:提供一种基于磁场检测的胶囊内窥镜的定位系统及其定位方法。

[0006] 本发明解决其技术问题的解决方案是:

[0007] 一种胶囊内窥镜定位系统,包括永磁体、检测模块、上位机以及电源,所述永磁体安装在胶囊内窥镜中,所述检测模块配置有两个或两个以上,所述电源分别与各个检测模块相连接,每个所述检测模块包括磁阻传感器以及放大电路,所述磁阻传感器与放大电路的输入端相连接,各个检测模块的放大电路的输出端分别与上位机相连接,各个检测模块的磁阻传感器均设置在同一平面上且呈环形阵列分布在永磁体的外部。

[0008] 作为上述技术方案的进一步改进,所述放大电路包括放大单元、调零单元以及基准电压单元,所述磁阻传感器与放大单元的输入端相连接,所述放大单元的输出端与上位机相连接,所述调零单元以及基准电压单元分别与放大单元相连接。

[0009] 作为上述技术方案的进一步改进,所述放大单元包括仪表放大器芯片、电阻R1、电

容C1、电容C2以及电容C3,所述仪表放大器芯片设有两个增益控制端、两个电压输入端、一个电压输出端以及一个基准电压端,所述电阻R1两端分别与仪表放大器芯片的两个增益控制端相连接,所述仪表放大器芯片的两个电压输入端分别与磁阻传感器相连接,所述仪表放大器芯片的两个电压输入端分别通过电容C1以及电容C2接地,所述电容C3的两端分别与所述仪表放大器芯片的两个电压输入端相连接,所述仪表放大器芯片的基准电压端与基准电压单元相连接。

[0010] 作为上述技术方案的进一步改进,所述调零单元包括电阻R2、电阻R3、电阻R4以及电阻R5,所述电阻R2是电位器,所述电阻R2与电阻R3串联在电源与地之间,所述电阻R4一端接在电阻R2与电阻R3之间,另一端通过电阻R5与磁阻传感器相连接,所述仪表放大器芯片的其中一个电压输入端接在电阻R4与电阻R5之间。

[0011] 作为上述技术方案的进一步改进,所述基准电压单元包括基准电压芯片,所述基准电压芯片的输入端与电源相连,所述基准电压芯片的输出端与仪表放大器芯片的基准电压端相连接。

[0012] 作为上述技术方案的进一步改进,所述仪表放大器芯片的型号为AD623,所述基准电压芯片的型号为MC1403,所述磁阻传感器的型号为HMC1043。

[0013] 本发明的有益效果是:本发明在胶囊内窥镜中安装永磁体,通过设置在永磁体外部的两个或以上磁阻传感器对永磁体由于位置姿态的改变而引起的磁场变化进行检测,利用放大电路对磁阻传感器输出的电压信号进行检测,提高对胶囊内窥镜的位置姿态参数检测的准确度。

[0014] 本发明同时还公开了一种胶囊内窥镜的定位方法,包括以下步骤:

[0015] 步骤100,将永磁体安装在胶囊内窥镜中,将永磁体简化为磁偶极子模型,将胶囊内窥镜简化为刚体模型;

[0016] 步骤200,将两个或两个以上的磁阻传感器设置在胶囊内窥镜外部,所述磁阻传感器呈环形阵列分布,所述磁阻传感器是三轴磁阻传感器;

[0017] 步骤300,建立空间直角坐标系 $oxyz$,胶囊内窥镜的位置姿态参数定义为 (x, y, z, α, β) ,其中 (x, y, z) 为胶囊内窥镜的中心坐标, α 为胶囊内窥镜中轴线与 z 轴的夹角, β 为胶囊内窥镜中轴线在 xoy 平面的投影与 x 轴的夹角;

[0018] 步骤400,获取每个磁阻传感器的输出电压值;

[0019] 步骤500,根据每个磁阻传感器的输出电压值,计算磁阻传感器所处位置的磁感应强度;

[0020] 步骤600,根据每个磁阻传感器所处位置的磁感应强度,计算出胶囊内窥镜的位置姿态参数。

[0021] 作为上述技术方案的进一步改进,步骤100中,所述永磁体的磁矩与胶囊内窥镜的中轴线重合或者平行。

[0022] 作为上述技术方案的进一步改进,步骤500中,胶囊内窥镜的输出电压值与磁感应强度的关系如式1所示:

$$[0023] \quad \begin{pmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{K_1} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{K_2} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{K_3} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{pmatrix} \quad \text{式 1}$$

[0024] 其中 (V_1, V_2, V_3) 为磁阻传感器的输出电压值, (B_1, B_2, B_3) 为全局坐标系下磁阻传感器所处位置的磁感应强度, (K_1, K_2, K_3) 是转换系数, 如式2所示将全局坐标系下的磁感应强度 (B_1, B_2, B_3) 转换成直角坐标系下的磁感应强度 (B_x, B_y, B_z) :

$$[0025] \quad \begin{pmatrix} B_x \\ B_y \\ B_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} K_{11} & K_{12} & K_{13} \\ K_{21} & K_{22} & K_{23} \\ K_{31} & K_{32} & K_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} K_{11} & K_{12} & K_{13} \\ K_{21} & K_{22} & K_{23} \\ K_{31} & K_{32} & K_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{1}{K_1} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{K_2} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{K_3} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{pmatrix} \quad \text{式 2}$$

[0026] 根据公式 $B = B_T \left(\frac{3(H_0 \cdot r)r}{r^5} - \frac{H_0}{r^3} \right)$, r 表示永磁体到空间点的位移矢量, $B_T = \frac{\mu_0 m'}{4\pi}$, m' 表示永磁体的磁矩, $H_0 = (m, n, p)$, H_0 是与磁矩矢量同向的单位向量, 对式2进行运算得式3:

$$[0027] \quad \begin{pmatrix} B_x \\ B_y \\ B_z \end{pmatrix} = B_T \left[\frac{3(H \cdot R)R}{R^5} - \frac{H}{R^3} \right] = B_T \begin{pmatrix} \frac{3[m(x_l - a) + n(y_l - b) + p(z_l - c)](x_l - a)}{R_l^5} - \frac{m}{R_l^3} \\ \frac{3[m(x_l - a) + n(y_l - b) + p(z_l - c)](y_l - b)}{R_l^5} - \frac{n}{R_l^3} \\ \frac{3[m(x_l - a) + n(y_l - b) + p(z_l - c)](z_l - c)}{R_l^5} - \frac{p}{R_l^3} \end{pmatrix} \quad \text{式 3}$$

[0028] 设 $\begin{pmatrix} B_x \\ B_y \\ B_z \end{pmatrix} = B_T \begin{pmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \end{pmatrix}$, 则式3转换成式4:

$$[0029] \quad \begin{pmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \end{pmatrix} = \frac{1}{B_T} \begin{pmatrix} B_x \\ B_y \\ B_z \end{pmatrix} = \frac{1}{B_T} \begin{pmatrix} K_{11} & K_{12} & K_{13} \\ K_{21} & K_{22} & K_{23} \\ K_{31} & K_{32} & K_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{1}{K_1} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{K_2} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{K_3} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{pmatrix} \quad \text{式 4}$$

[0030] 设 $K = \begin{pmatrix} K_{11} & K_{12} & K_{13} \\ K_{21} & K_{22} & K_{23} \\ K_{31} & K_{32} & K_{33} \end{pmatrix}$, 计算K值的过程包括以下步骤:

[0031] 步骤510, 获取一组已知的位置姿态参数, 记为 $(a_i, b_i, c_i, m_i, n_i, p_i)$ ($i = 1, 2, 3 \dots$

N) ;

[0032] 步骤520,令式4在x方向进行简化,得到式5:

$$[0033] \quad B_T F_{xi} = \frac{K_{11}}{K_1} V_{1i} + \frac{K_{12}}{K_2} V_{2i} + \frac{K_{13}}{K_3} V_{3i} \quad \text{式 5}$$

[0034] 令 $K'_{11} = \frac{K_{11}}{K_1}, K'_{12} = \frac{K_{12}}{K_2}, K'_{13} = \frac{K_{13}}{K_3}$, 通过最小二乘法构建误差函数如式6所示:

$$[0035] \quad Q_{xi} = \sum_{i=1}^N \left[B_T F_{xi} - (K'_{11} V_{1i} + K'_{12} V_{2i} + K'_{13} V_{3i}) \right]^2 \quad \text{式 6}$$

[0036] 步骤530,分别令 $\frac{\partial Q_{xi}}{\partial B_T} = 0, \frac{\partial Q_{xi}}{\partial K'_{11}} = 0, \frac{\partial Q_{xi}}{\partial K'_{12}} = 0, \frac{\partial Q_{xi}}{\partial K'_{13}} = 0$, 将式6写成矩阵的形式,得到式7:

$$[0037] \quad \sum_{i=1}^N \begin{bmatrix} F_{xi}^2 & -V_{1i} F_{xi} & -V_{2i} F_{xi} & -V_{3i} F_{xi} \\ V_{1i} F_{xi} & -V_{1i}^2 & -V_{2i} V_{1i} & -V_{3i} V_{1i} \\ V_{2i} F_{xi} & -V_{1i} V_{2i} & -V_{2i}^2 & -V_{3i} V_{2i} \\ V_{3i} F_{xi} & -V_{1i} V_{3i} & -V_{2i} V_{3i} & -V_{3i}^2 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} B_T \\ K'_{11} \\ K'_{12} \\ K'_{13} \end{pmatrix} = 0 \quad \text{式 7}$$

[0038] 步骤540,由式7得到 $(K'_{11}, K'_{12}, K'_{13})$;

[0039] 步骤550,重复步骤520至步骤540两次,分别在步骤520中令式4在y轴以及z轴方向进行简化,得到 $(K'_{21}, K'_{22}, K'_{23})$ 和 $(K'_{31}, K'_{32}, K'_{33})$, 得到K值。

[0040] 作为上述技术方案的进一步改进,步骤600中胶囊内窥镜的位置姿态参数是根据每个磁阻传感器所处位置的磁感应强度,利用线性算法或者非线性算法计算得到的;

[0041] 设胶囊内窥镜的磁矩为 m' , 根据磁偶极子模型,得到胶囊内窥镜在空间的三维磁场强度矢量如式8所示:

$$[0042] \quad B_0(B_x, B_y, B_z) = \frac{\mu_0}{4\pi} \nabla \left(m' \cdot \nabla \left(\frac{1}{r} \right) \right) = \frac{\mu_0}{4\pi} \left(\frac{3(m'r)}{r^5} r - \frac{m'}{r^3} \right) \quad \text{式 8}$$

[0043] 其中 r 为永磁体到空间点的位移矢量, ∇ 为哈密顿算子,

$\nabla = \frac{\partial}{\partial x} i + \frac{\partial}{\partial y} j + \frac{\partial}{\partial z} k$, 当磁偶极子不处于坐标原点时,设其位置为 $r_m(x_m, y_m, z_m)$, 空间某点的坐标为 $r_s(x_s, y_s, z_s)$, 则该点与磁偶极子的相对坐标为 $r = r_s - r_m = (x_s - x_m, y_s - y_m, z_s - z_m)$;

[0044] 在直角坐标系下,磁偶极子在空间任一点的磁感应强度如式9所示:

$$\begin{aligned}
B &= B_x i + B_y j + B_z k \\
&= \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{m'}{r^5} \left\{ \left[(2X^2 - Y^2 - Z^2) \sin \alpha \cos \beta + 3XY \sin \alpha \sin \beta + 3XZ \cos \alpha \right] i \right. \\
&\quad + \left[(2Y^2 - X^2 - Z^2) \sin \alpha \sin \beta + 3XY \sin \alpha \cos \beta + 3YZ \cos \alpha \right] j \\
&\quad \left. + \left[(2Z^2 - X^2 - Y^2) \cos \alpha + 3XZ \sin \alpha \cos \beta + 3YZ \sin \alpha \sin \beta \right] k \right\}
\end{aligned} \tag{式 9}$$

[0046] 式中 $X = x_s - x_m$, $Y = y_s - y_m$, $Z = z_s - z_m$, $r^2 = (x_s - x_m)^2 + (y_s - y_m)^2 + (z_s - z_m)^2$, 在 (x_s, y_s, z_s) 处的磁感应强度通过步骤500计算得到;

[0047] 利用非线性算法计算胶囊内窥镜的位置姿态参数, 根据磁阻传感器输出建立数学方程是超定方程组, 方程个数大于位置姿态参数的未知量, 采用测量点残差的加权平方和作为目标函数, 使用最小二乘法求解, 目标函数如式10所示:

$$Q = \sum_{i=1}^m w_i r_i^2 = \sum_{i=1}^m w_i [y_i - f(x_i, b)]^2 \rightarrow \min \tag{式 10}$$

[0049] 设磁阻传感器配置有 N 个, $B_m^j (B_{mx}, B_{my}, B_{mz})$, $j = 1, 2, 3, \dots, N$ 是任意一个磁阻传感器的磁感应强度分量测量值, 记作 B_k , $k = 1, 2, 3, \dots, 3N$, 分别等于 $B_{k=3(i-1)+1} = B_{mx}^i$, $B_{k=3(i-1)+2} = B_{my}^i$, $B_{k=3(i-1)+3} = B_{mz}^i$, $i = 1, 2, 3, \dots, N$, 将

$B_{k=3(i-1)+1} = B_{mx}^i$, $B_{k=3(i-1)+2} = B_{my}^i$, $B_{k=3(i-1)+3} = B_{mz}^i$ 分别转换成残差形式, 如式11所示:

$$\begin{cases} \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{m'}{r_i^5} \left[(2X^2 - Y^2 - Z^2) \sin \alpha \cos \beta + 3XY \sin \alpha \sin \beta + 3XZ \cos \alpha \right] - B_{3(i-1)+1} = e_{3(i-1)+1} \\ \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{m'}{r_i^5} \left[(2Y^2 - X^2 - Z^2) \sin \alpha \sin \beta + 3XY \sin \alpha \cos \beta + 3YZ \cos \alpha \right] - B_{3(i-1)+2} = e_{3(i-1)+2} \\ \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{m'}{r_i^5} \left[(2Z^2 - X^2 - Y^2) \cos \alpha + 3XZ \sin \alpha \cos \beta + 3YZ \sin \alpha \sin \beta \right] - B_{3(i-1)+3} = e_{3(i-1)+3} \\ i = 1, 2, \dots, N \end{cases} \tag{式 11}$$

$$\text{其中} \begin{cases} X_i = x_s - x_{mi} \\ Y_i = y_s - y_{mi} \\ Z_i = z_s - z_{mi} \end{cases}, \quad r_i^2 = X_i^2 + Y_i^2 + Z_i^2, i = 1, 2, 3, \dots, N, \quad (x_{mi}, y_{mi}, z_{mi})$$

是第 i 个磁阻传感器的坐标, 通过磁阻传感器所检测的空间点的磁感应强度, 具有三个

方向向量, 取其残差平方和的开方, 作为位姿姿态求解准则, $f(x) = \sqrt{\sum_{i=1}^{3N} e_i^2}$, 通过以上 $3N$

个式11方程的求解, 确定永磁体的位置姿态参数;

[0052] 利用线性算法计算胶囊内窥镜的位置姿态参数, 对式8进行简化, 设 $B_T = \frac{\mu_0 m'}{4\pi}$,

将式8简化为式12:

$$[0053] \quad B_l = B_T \left(\frac{3(H_0 \cdot r)r}{r^5} - \frac{H_0}{r^3} \right) \quad \text{式 12}$$

[0054] 式中 H_0 是与磁矩矢量同向的单位向量,令 $H_0 = (m, n, p)$,式12中等式两边先与 r 进行向量积得到:

$$[0055] \quad (B_l \times r) \cdot H_0 = 0 \quad \text{式13}$$

[0056] 将式13改写成分量的形式得到:

$$[0057] \quad \begin{pmatrix} B_{lx} \\ B_{ly} \\ B_{lz} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} x_l - x_m \\ y_l - y_m \\ z_l - z_m \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} m \\ n \\ p \end{pmatrix} = 0 \quad \text{式 14}$$

[0058] 对式14进行化简得到:

$$[0059] \quad \left(B_{lx}, B_{ly}, B_{lz}, B_{lz}y_l - B_{ly}z_l, B_{lx}z_l - B_{lz}x_l, B_{ly}x_l - B_{lx}y_l \right) \begin{pmatrix} y_m p - z_m n \\ z_m m - x_m p \\ x_m n - y_m m \\ m \\ n \\ p \end{pmatrix} = 0 \quad \text{式 15}$$

[0060] 由式15得到胶囊内窥镜的位置姿态参数。

[0061] 本发明的有益效果是:本发明利用两个或以上的磁阻传感器实现胶囊内窥镜位置姿态参数的检测,利用逆推算法通过磁阻传感器的输出电压值得到空间磁感应强度值,最后再利用线性算法或者非线性算法根据空间磁感应强度计算出胶囊内窥镜额位置姿态参数。

附图说明

[0062] 为了更清楚地说明本发明实施例中的技术方案,下面将对实施例描述中所需要使用的附图作简单说明。显然,所描述的附图只是本发明的一部分实施例,而不是全部实施例,本领域的技术人员在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他设计方案和附图。

[0063] 图1是本发明创造的磁阻传感器分布示意图;

[0064] 图2是本发明创造的放大电路原理图;

[0065] 图3是本发明创造的磁偶极子模型示意图;

[0066] 图4是本发明创造的方法流程图。

具体实施方式

[0067] 以下将结合实施例和附图对本发明的构思、具体结构及产生的技术效果进行清楚、完整的描述,以充分地理解本发明的目的、特征和效果。显然,所描述的实施例只是本申请的一部分实施例,而不是全部实施例,基于本申请的实施例,本领域的技术人员在不付出

创造性劳动的前提下所获得的其他实施例,均属于本申请保护的范围。另外,文中所提到的所有连接关系,并非单指构件直接相接,而是指可根据具体实施情况,通过添加或减少连接辅件,来组成更优的连接结构。本发明创造中的各个技术特征,在不互相矛盾冲突的前提下可以交互组合。最后需要说明的是,如文中术语“中心、上、下、左、右、竖直、水平、内、外”等指示的方位或位置关系则为基于附图所示的方位或位置关系,仅是为了便于描述本技术方案和简化描述,而不是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作,因此不能理解为对本申请的限制。

[0068] 参照图1~图2,为了解决现有技术中胶囊内窥镜难以实现精准定位的技术问题,本技术方案提供了一种胶囊内窥镜的定位系统。

[0069] 一种胶囊内窥镜定位系统的第一实施例,包括永磁体1、检测模块、上位机以及电源,所述永磁体1安装在胶囊内窥镜中,所述检测模块配置有两个或两个以上,所述电源分别与各个检测模块相连接,每个所述检测模块包括磁阻传感器2以及放大电路,所述磁阻传感器2与放大电路的输入端相连接,各个检测模块的放大电路的输出端分别与上位机相连接,各个检测模块的磁阻传感器2均设置在同一平面上且呈环形阵列分布在永磁体1的外部,本领域技术人员根据现有技术中的各种固定安装结构实现磁阻传感器2的固定,所述磁阻传感器2是三轴磁阻传感器2。需要说明的是所述磁阻传感器2是根据磁性材料的磁阻效应制成的,磁性材料(如坡莫合金)具有各向异性,对它进行磁化时,其磁化方向将取决于材料的易磁化轴、材料的形状和磁化磁场的方向,当给带状坡莫合金材料通电流时,材料的电阻取决于电流的方向与磁化方向的夹角,如果给材料施加一个磁场(被测磁场),就会使原来的磁化方向转动,如果磁化方向转向垂直于电流的方向,则材料的电阻将减小;如果磁化方向转向平行于电流的方向,则材料的电阻将增大,磁阻传感器2一般由四个这样的电阻组成,并将它们接成电桥,在被测磁场作用下,电桥中位于相对位置的两个电阻阻值增大,另外两个电阻的阻值减小。在其线性范围内,电桥的输出电压与被测磁场成正比。简单来说,所述磁阻传感器2能够将磁场的变化转换成其自身阻值的变化。

[0070] 具体地,而胶囊内窥镜在移动过程中,其位置以及姿态都会不断的发生变化,但是其内部的永磁体1在胶囊内窥镜中的位置不会发生变化,因此胶囊内窥镜的位置及姿态发生变化时,胶囊内窥镜自身附近空间的磁场同样也会随之而变化,本技术方案利用各个磁阻传感器2对胶囊内窥镜附近空间的磁场进行检测,上位机即可得出胶囊内窥镜的实时位置以及状态;利用放大电路对磁阻传感器2输出的电压信号进行检测,提高对胶囊内窥镜的位置姿态参数检测的准确度。

[0071] 进一步地,本实施例中,所述放大电路包括放大单元、调零单元以及基准电压单元,所述磁阻传感器2与放大单元的输入端相连接,所述放大单元的输出端与上位机相连接,所述调零单元以及基准电压单元分别与放大单元相连接。具体地,由于胶囊内窥镜中的永磁体1所产生的磁场较弱,因此磁阻传感器2所输出的电信号较弱,需要利用放大单元对其进行放大操作,同时也由于磁阻传感器2内部的元件参数无法改变,因此需要通过外部手段实现调零功能,所述基准电压单元用于向放大单元提供基准电压信号。

[0072] 进一步地,本实施例中,所述放大单元包括仪表放大器芯片、电阻R1、电容C1、电容C2以及电容C3,所述仪表放大器芯片设有两个增益控制端、两个电压输入端、一个电压输出端以及一个基准电压端,所述电阻R1两端分别与仪表放大器芯片的两个增益控制端相连

接,所述仪表放大器芯片的两个电压输入端分别与磁阻传感器2相连接,所述仪表放大器芯片的两个电压输入端分别通过电容C1以及电容C2接地,所述电容C3的两端分别与所述仪表放大器芯片的两个电压输入端相连接,所述仪表放大器芯片的基准电压端与基准电压单元相连接。

[0073] 进一步地,本实施例中,所述调零单元包括电阻R2、电阻R3、电阻R4以及电阻R5,所述电阻R2是电位器,所述电阻R2与电阻R3串联在电源与地之间,所述电阻R4一端接在电阻R2与电阻R3之间,另一端通过电阻R5与磁阻传感器2相连接,所述仪表放大器芯片的其中一个电压输入端接在电阻R4与电阻R5之间,通过调节电阻R2的阻值大小即可改变电阻R2和电阻R3的连接点处的电位,进一步改变电阻R4和电阻R5的连接点处的电位,从而实现调零操作。

[0074] 进一步地,本实施例中,所述基准电压单元包括基准电压芯片,所述基准电压芯片的输入端与电源相连,所述基准电压芯片的输出端与仪表放大器芯片的基准电压端相连接。具体地,本实施例中所述基准电压单元是利用集成电路芯片,将电源的输出电压转换成另一个恒定的电压值,有效简化基准电压单元的电路结构。

[0075] 进一步地,本实施例中,所述仪表放大器芯片的型号优先选择为AD623,所述基准电压芯片的型号优先选择为MC1403,所述磁阻传感器2的型号为HMC1043。所述型号的仪表放大器芯片一款集成单电源仪表放大器芯片,它能在单电源(+3V~+12V)下提供满电源幅度的输出,AD623允许使用单个增益设置电阻进行增益编程,以得到良好的用户灵活性,在无外接电阻的条件下,AD623被设置为单位增益,外接电阻后,AD623可编程设置增益,其增益最高可达1000倍,AD623通过提供极好的随增益增大而增大的交流共模抑制比而保持最小的误差,线路噪声及谐波将由于共模抑制比在高达200Hz时仍保持恒定而受到抑制;所述型号的基准电压芯片是美国摩托罗拉公司生产的一种新型的参考电压器件,它是利用一个负温度系数的基射结正向电压与正温度系数的工作在不同电流密度下,两个晶体管基射结电压差相加而形成的零温度系数的参考电压源,因此所述型号的基准电压芯片适用于高精度低漂移能隙基准电源。所述型号的磁阻传感器2是一种三轴表面安装的传感器序列系统,适用于低磁场检测,该型号的磁阻传感器2采用霍尼韦尔各向异性磁阻技术,具有胜过线圈型磁传感器的优点。

[0076] 参照图3和图4,本技术方案同时还提供了一种胶囊内窥镜的定位方法,包括以下步骤:

[0077] 步骤100,将永磁体1安装在胶囊内窥镜中,将永磁体1简化为磁偶极子模型,将胶囊内窥镜简化为刚体模型;

[0078] 步骤200,将两个或两个以上的磁阻传感器2设置在胶囊内窥镜外部,所述磁阻传感器2呈环形阵列分布,所述磁阻传感器2是三轴磁阻传感器2;

[0079] 步骤300,建立空间直角坐标系 $oxyz$,胶囊内窥镜的位置姿态参数定义为 (x, y, z, α, β) ,其中 (x, y, z) 为胶囊内窥镜的中心坐标, α 为胶囊内窥镜中轴线与 z 轴的夹角, β 为胶囊内窥镜中轴线在 xoy 平面的投影与 x 轴的夹角;

[0080] 步骤400,获取每个磁阻传感器2的输出电压值;

[0081] 步骤500,根据每个磁阻传感器2的输出电压值,通过逆推算法计算磁阻传感器2所处位置的磁感应强度;

[0082] 步骤600,根据每个磁阻传感器2所处位置的磁感应强度,利用线性算法或者非线性算法计算出胶囊内窥镜的位置姿态参数。

[0083] 进一步地,本技术方案中,步骤100中,所述永磁体1的磁矩与胶囊内窥镜的中轴线重合或者平行,计算出永磁体1的位置姿态参数后,无需再进多多一步运算,能够有效简化计算流程。

[0084] 进一步地,本技术方案中步骤500中,胶囊内窥镜的输出电压值与磁感应强度的关系如式1所示:

$$[0085] \quad \begin{pmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{K_1} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{K_2} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{K_3} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{pmatrix} \quad \text{式 1}$$

[0086] 其中 (V_1, V_2, V_3) 为磁阻传感器2的输出电压值, (B_1, B_2, B_3) 为全局坐标系下磁阻传感器2所处位置的磁感应强度, (K_1, K_2, K_3) 是转换系数,如式2所示将全局坐标系下的磁感应强度 (B_1, B_2, B_3) 转换成直角坐标系下的磁感应强度 (B_x, B_y, B_z) :

$$[0087] \quad \begin{pmatrix} B_x \\ B_y \\ B_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} K_{11} & K_{12} & K_{13} \\ K_{21} & K_{22} & K_{23} \\ K_{31} & K_{32} & K_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} K_{11} & K_{12} & K_{13} \\ K_{21} & K_{22} & K_{23} \\ K_{31} & K_{32} & K_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{1}{K_1} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{K_2} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{K_3} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{pmatrix} \quad \text{式 2}$$

[0088] 根据公式 $B = B_T \left(\frac{3(H_0 \cdot r)r}{r^5} - \frac{H_0}{r^3} \right)$, r 表示永磁体到空间点的位移矢量, $B_T = \frac{\mu_0 m'}{4\pi}$,

m' 表示永磁体的磁矩, $H_0 = (m, n, p)$, H_0 是与磁矩矢量同向的单位向量,相当于方向参数,对式2进行运算可得式3:

$$[0089] \quad \begin{pmatrix} B_x \\ B_y \\ B_z \end{pmatrix} = B_T \left[\frac{3(H \cdot R)R}{R^5} - \frac{H}{R^3} \right] = B_T \begin{pmatrix} \frac{3[m(x_l - a) + n(y_l - b) + p(z_l - c)](x_l - a)}{R_l^5} - \frac{m}{R_l^3} \\ \frac{3[m(x_l - a) + n(y_l - b) + p(z_l - c)](y_l - b)}{R_l^5} - \frac{n}{R_l^3} \\ \frac{3[m(x_l - a) + n(y_l - b) + p(z_l - c)](z_l - c)}{R_l^5} - \frac{p}{R_l^3} \end{pmatrix} \quad \text{式 3}$$

[0090] 其中 (a, b, c) 为已知点(即磁阻传感器)的坐标, (x_l, y_l, z_l) 表示磁偶极子的坐标,

R_l 是磁偶极子到已知点(即磁阻传感器)的距离,设 $\begin{pmatrix} B_x \\ B_y \\ B_z \end{pmatrix} = B_T \begin{pmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \end{pmatrix}$, 则式3转换成式4:

$$[0091] \quad \begin{pmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \end{pmatrix} = \frac{1}{B_T} \begin{pmatrix} B_x \\ B_y \\ B_z \end{pmatrix} = \frac{1}{B_T} \begin{pmatrix} K_{11} & K_{12} & K_{13} \\ K_{21} & K_{22} & K_{23} \\ K_{31} & K_{32} & K_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{1}{K_1} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{K_2} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{K_3} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{pmatrix} \quad \text{式 4}$$

$$[0092] \quad \text{设 } K = \begin{pmatrix} K_{11} & K_{12} & K_{13} \\ K_{21} & K_{22} & K_{23} \\ K_{31} & K_{32} & K_{33} \end{pmatrix}, \text{ 计算K值的过程包括以下步骤:}$$

[0093] 步骤510, 获取一组已知的位置姿态参数, 记为 $(a_i, b_i, c_i, m_i, n_i, p_i)$ ($i=1, 2, 3 \dots N$);

[0094] 步骤520, 令式4在x方向进行简化, 可得式5:

$$[0095] \quad B_T F_{xi} = \frac{K_{11}}{K_1} V_{1i} + \frac{K_{12}}{K_2} V_{2i} + \frac{K_{13}}{K_3} V_{3i} \quad \text{式 5}$$

[0096] 令 $K'_{11} = \frac{K_{11}}{K_1}, K'_{12} = \frac{K_{12}}{K_2}, K'_{13} = \frac{K_{13}}{K_3}$, 通过最小二乘法构建误差函数如式6所示:

$$[0097] \quad Q_{xi} = \sum_{i=1}^N \left[B_T F_{xi} - (K'_{11} V_{1i} + K'_{12} V_{2i} + K'_{13} V_{3i}) \right]^2 \quad \text{式 6}$$

[0098] 步骤530, 分别令 $\frac{\partial Q_{xi}}{\partial B_T} = 0, \frac{\partial Q_{xi}}{\partial K'_{11}} = 0, \frac{\partial Q_{xi}}{\partial K'_{12}} = 0, \frac{\partial Q_{xi}}{\partial K'_{13}} = 0$, 将式6写成矩阵的形式, 得到式7:

$$[0099] \quad \sum_{i=1}^N \begin{bmatrix} F_{xi}^2 & -V_{1i} F_{xi} & -V_{2i} F_{xi} & -V_{3i} F_{xi} \\ V_{1i} F_{xi} & -V_{1i}^2 & -V_{2i} V_{1i} & -V_{3i} V_{1i} \\ V_{2i} F_{xi} & -V_{1i} V_{2i} & -V_{2i}^2 & -V_{3i} V_{2i} \\ V_{3i} F_{xi} & -V_{1i} V_{3i} & -V_{2i} V_{3i} & -V_{3i}^2 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} B_T \\ K'_{11} \\ K'_{12} \\ K'_{13} \end{pmatrix} = 0 \quad \text{式 7}$$

[0100] 步骤540, 由式7可得 $(K'_{11}, K'_{12}, K'_{13})$;

[0101] 步骤550, 重复步骤520至步骤540两次, 分别在步骤520中令式4在y轴以及z轴方向进行简化, 得到 $(K'_{21}, K'_{22}, K'_{23})$ 和 $(K'_{31}, K'_{32}, K'_{33})$, 得到K值。

[0102] 进一步地, 本技术方案中, 步骤600中胶囊内窥镜的位置姿态参数是根据每个磁阻传感器2所处位置的磁感应强度, 利用线性算法或者非线性算法计算得到的;

[0103] 设胶囊内窥镜的磁矩为 m' , 根据磁偶极子模型, 可得胶囊内窥镜在空间的三维磁场强度矢量如式8所示:

$$[0104] \quad B_0(B_x, B_y, B_z) = \frac{\mu_0}{4\pi} \nabla \left(m' \cdot \nabla \left(\frac{1}{r} \right) \right) = \frac{\mu_0}{4\pi} \left(\frac{3(m'r)}{r^5} r - \frac{m'}{r^3} \right) \quad \text{式 8}$$

[0105] 其中 r 为永磁体1到空间点的位移矢量, ∇ 为哈密顿算子,

$\nabla = \frac{\partial}{\partial x} i + \frac{\partial}{\partial y} j + \frac{\partial}{\partial z} k$, 当磁偶极子不处于坐标原点时, 设其位置为 $r_m (x_m, y_m, z_m)$, 空间某点的坐标为 $r_s (x_s, y_s, z_s)$, 则该点与磁偶极子的相对坐标为 $r = r_s - r_m = (x_s - x_m, y_s - y_m, z_s - z_m)$;

[0106] 在直角坐标系下, 磁偶极子在空间任一点的磁感应强度如式9所示:

$$\begin{aligned} B &= B_x i + B_y j + B_z k \\ &= \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{m'}{r^5} \left\{ \left[(2X^2 - Y^2 - Z^2) \sin \alpha \cos \beta + 3XY \sin \alpha \sin \beta + 3XZ \cos \alpha \right] i \right. \\ &\quad + \left[(2Y^2 - X^2 - Z^2) \sin \alpha \sin \beta + 3XY \sin \alpha \cos \beta + 3YZ \cos \alpha \right] j \\ &\quad \left. + \left[(2Z^2 - X^2 - Y^2) \cos \alpha + 3XZ \sin \alpha \cos \beta + 3YZ \sin \alpha \sin \beta \right] k \right\} \end{aligned} \quad \text{式 9}$$

[0108] 式中 $X = x_s - x_m$, $Y = y_s - y_m$, $Z = z_s - z_m$, $r^2 = (x_s - x_m)^2 + (y_s - y_m)^2 + (z_s - z_m)^2$, 在 (x_s, y_s, z_s) 处的磁感应强度通过步骤500计算得到;

[0109] 利用非线性算法计算胶囊内窥镜的位置姿态参数, 根据磁阻传感器2输出建立数学方程是超定方程组, 方程个数大于位置姿态参数的未知量, 采用测量点残差的加权平方和作为目标函数, 使用最小二乘法求解, 目标函数如式10所示:

$$Q = \sum_{i=1}^m w_i r_i^2 = \sum_{i=1}^m w_i [y_i - f(x_i, b)]^2 \rightarrow \min \quad \text{式 10}$$

[0111] 设磁阻传感器2配置有 N 个, $B_m^j (B_{mx}, B_{my}, B_{mz})$, $j = 1, 2, 3, \dots, N$ 是任意一个磁阻传感器2的磁感应强度分量测量值, 记作 B_k , $k = 1, 2, 3, \dots, 3N$, 分别等于 $B_{k=3(i-1)+1} = B_{mx}^i$, $B_{k=3(i-1)+2} = B_{my}^i$, $B_{k=3(i-1)+3} = B_{mz}^i$, $i = 1, 2, 3, \dots, N$, 将

$B_{k=3(i-1)+1} = B_{mx}^i$, $B_{k=3(i-1)+2} = B_{my}^i$, $B_{k=3(i-1)+3} = B_{mz}^i$ 分别转换成残差形式, 如式11所示:

$$\begin{cases} \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{m'}{r_i^5} \left[(2X^2 - Y^2 - Z^2) \sin \alpha \cos \beta + 3XY \sin \alpha \sin \beta + 3XZ \cos \alpha \right] - B_{3(i-1)+1} = e_{3(i-1)+1} \\ \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{m'}{r_i^5} \left[(2Y^2 - X^2 - Z^2) \sin \alpha \sin \beta + 3XY \sin \alpha \cos \beta + 3YZ \cos \alpha \right] - B_{3(i-1)+2} = e_{3(i-1)+2} \\ \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{m'}{r_i^5} \left[(2Z^2 - X^2 - Y^2) \cos \alpha + 3XZ \sin \alpha \cos \beta + 3YZ \sin \alpha \sin \beta \right] - B_{3(i-1)+3} = e_{3(i-1)+3} \\ i = 1, 2, \dots, N \end{cases} \quad \text{式 11}$$

$$[0113] \quad \text{其中} \begin{cases} X_i = x_s - x_{mi} \\ Y_i = y_s - y_{mi} \\ Z_i = z_s - z_{mi} \end{cases}, \quad r_i^2 = X_i^2 + Y_i^2 + Z_i^2, i = 1, 2, 3, \dots, N, \quad (x_{mi}, y_{mi}, z_{mi})$$

是第 i 个磁阻传感器2的坐标, 通过磁阻传感器2所检测的空间点的磁感应强度, 具有三

个方向向量,取其残差平方和的开方,作为位姿姿态求解准则, $f(x) = \sqrt{\sum_{i=1}^{3N} e_i^2}$, 通过以上 3N 个式 11 方程的求解,可以确定永磁体 1 的位置姿态参数;

[0114] 利用线性算法计算胶囊内窥镜的位置姿态参数,对式 8 进行简化,设 $B_T = \frac{\mu_0 m'}{4\pi}$, 将式 8 简化为式 12:

$$[0115] \quad B_l = B_T \left(\frac{3(H_0 \cdot r)r}{r^5} - \frac{H_0}{r^3} \right) \quad \text{式 12}$$

[0116] 式中 H_0 是与磁矩矢量同向的单位向量,令 $H_0 = (m, n, p)$, 式 12 中等式两边先与 r 进行向量积可以得:

$$[0117] \quad (B_l \times r) \cdot H_0 = 0 \quad \text{式 13}$$

[0118] 将式 13 改写成分量的形式可得:

$$[0119] \quad \begin{pmatrix} B_{lx} \\ B_{ly} \\ B_{lz} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} x_l - x_m \\ y_l - y_m \\ z_l - z_m \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} m \\ n \\ p \end{pmatrix} = 0 \quad \text{式 14}$$

[0120] 对式 14 进行化简可得:

$$[0121] \quad \left(B_{lx}, B_{ly}, B_{lz}, B_{lz}y_l - B_{ly}z_l, B_{lx}z_l - B_{lz}x_l, B_{ly}x_l - B_{lx}y_l \right) \begin{pmatrix} y_m p - z_m n \\ z_m m - x_m p \\ x_m n - y_m m \\ m \\ n \\ p \end{pmatrix} = 0 \quad \text{式 15}$$

[0122] 由式 15 可得胶囊内窥镜的位置姿态参数。

[0123] 本技术方案通过建立线性和非线性两种算法对胶囊内窥镜的位置姿态参数进行计算,其中非线性算法具有较高精度,假若选取的初始值不合适,计算速度慢,并且可能失败,得不到全局最优解;线性算法特点是计算时间短,速度快,精度低。

[0124] 以上对本申请的较佳实施方式进行了具体说明,但本申请并不限于所述实施例,熟悉本领域的技术人员在不违背本发明精神的前提下还可作出种种的等同变型或替换,这些等同的变型或替换均包含在本申请权利要求所限定的范围内。

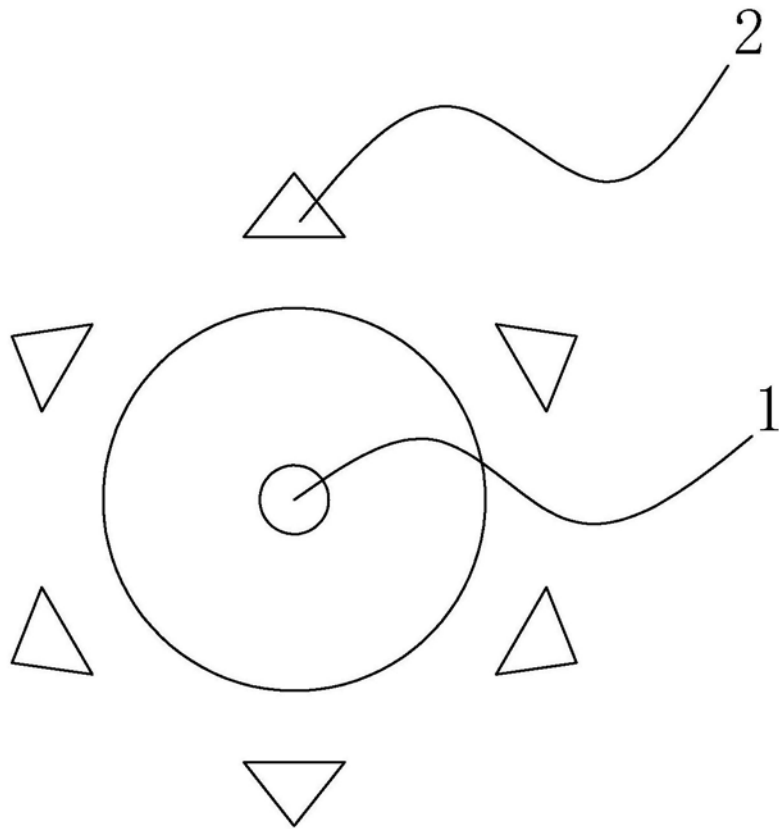


图1

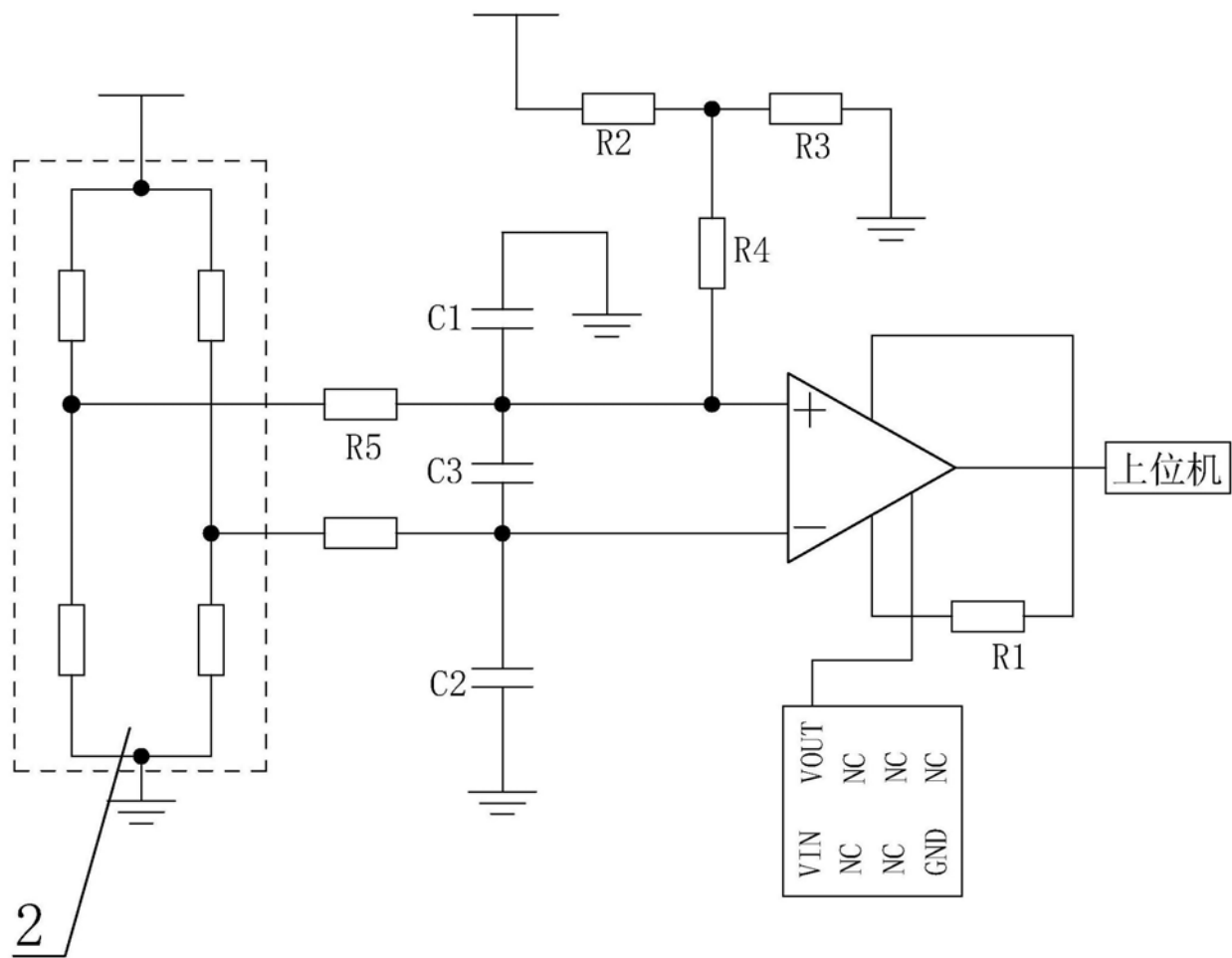


图2

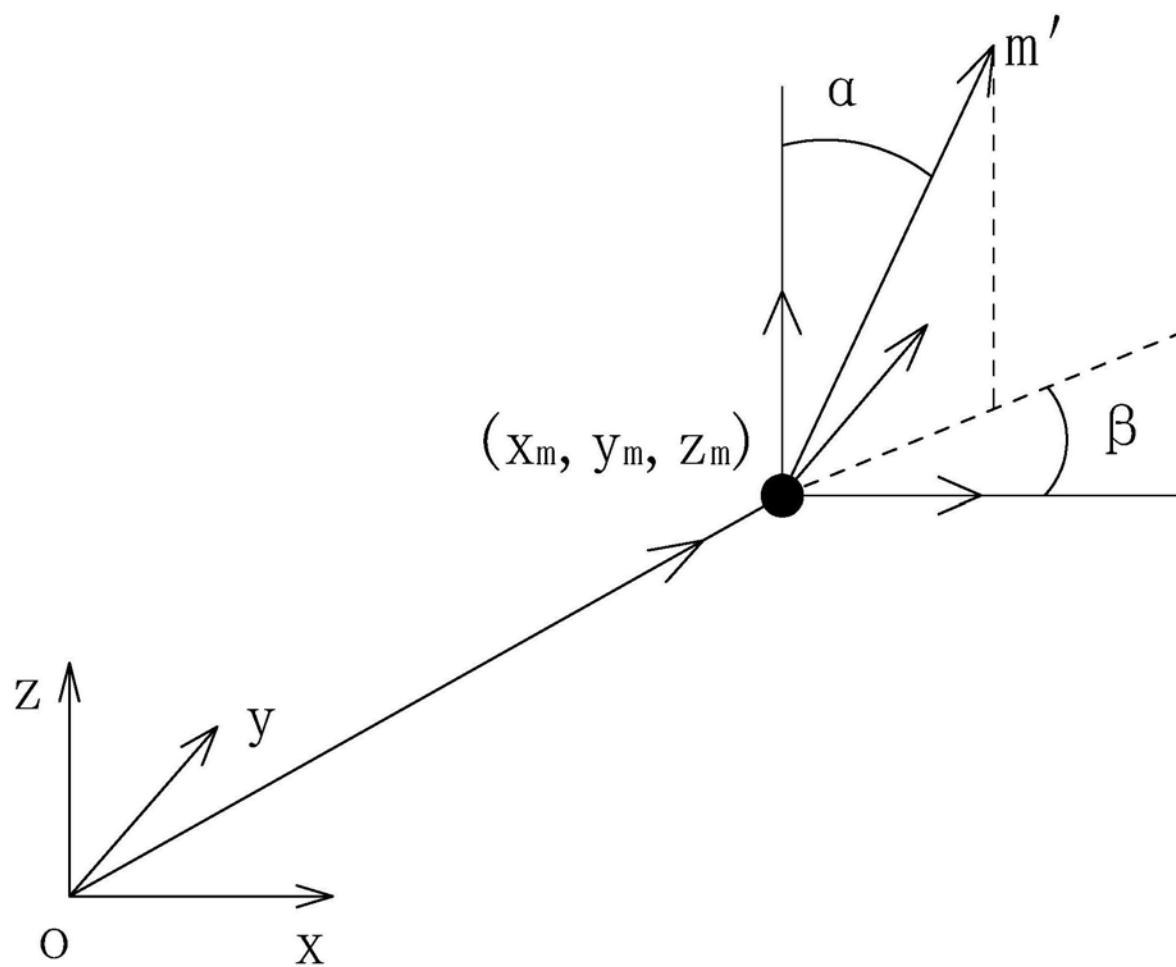


图3

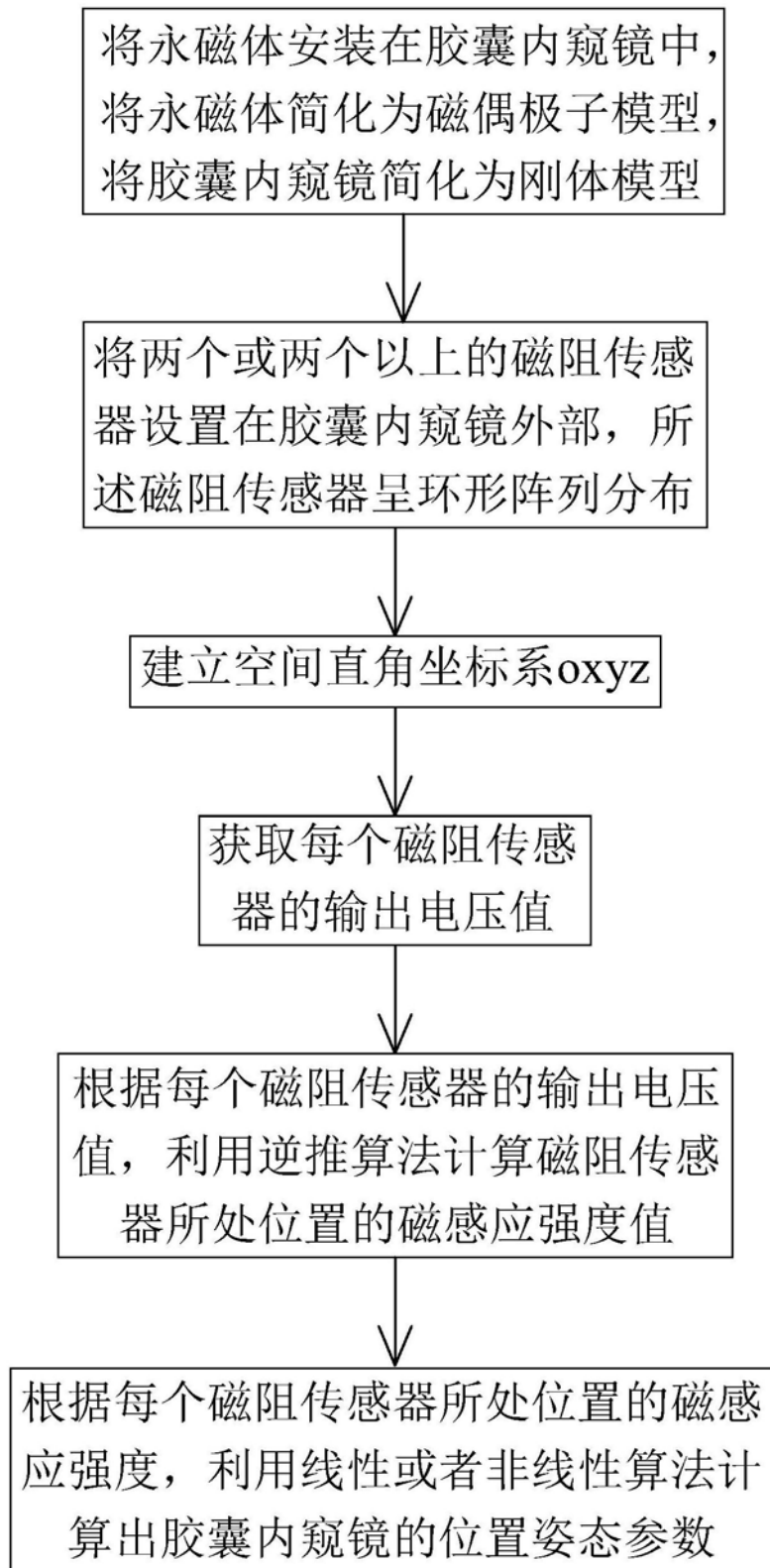


图4

专利名称(译)	一种胶囊内窥镜定位系统及其定位方法		
公开(公告)号	CN109805882A	公开(公告)日	2019-05-28
申请号	CN201910106519.0	申请日	2019-02-02
[标]申请(专利权)人(译)	佛山职业技术学院		
申请(专利权)人(译)	佛山职业技术学院		
当前申请(专利权)人(译)	佛山职业技术学院		
[标]发明人	刘修泉 李艳红 杨伟 张涛川 刘智 黄平 刘畅		
发明人	刘修泉 李艳红 杨伟 张涛川 刘智 黄平 刘畅		
IPC分类号	A61B1/04 A61B1/045		
代理人(译)	王国标		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

本发明公开了一种胶囊内窥镜定位系统以及定位方法，系统包括永磁体、检测模块、上位机以及电源，所永磁体安装在胶囊内窥镜中，所述检测模块配置有两个或两个以上，每个所述检测模块包括磁阻传感器以及放大电路，所述磁阻传感器与放大电路的输入端相连接，各个检测模块的放大电路的输出端分别与上位机相连接，各个检测模块的磁阻传感器均设置在同一平面上且呈环形阵列分布在永磁体的外部。本发明创造在胶囊内窥镜中安装永磁体，通过设置在永磁体外部的两个或以上磁阻传感器对永磁体由于位置姿态的改变而引起的磁场变化进行检测，利用放大电路对磁阻传感器输出的电压信号进行检测，提高对胶囊内窥镜的位置姿态参数检测的准确度。

